

УДК 669 72

Е. В. Брусницына*, Р. Ф. Муфтахетдинова, Т. В. Тютрина

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

**jeka_bru@list.ru*

Научный руководитель — проф., канд. техн. наук В. И. Гроховский

МАРТЕНСИТ И МАРТЕНСИТОПОДОБНЫЕ СТРУКТУРЫ В МЕТЕОРИТАХ

Продукты мартенситного превращения можно встретить не только в земных сплавах, но и в объектах космического происхождения, которыми являются метеориты. В работе рассмотрены морфологические особенности углеродосодержащих и безуглеродистых продуктов превращения высоконикелевой γ -Fe (Ni, Co)-фазы в различных метеоритах: палласите, железном и обыкновенном хондрите.

Ключевые слова: мартенсит, линзовидный мартенсит, мартенситоподобная структура, Палласит Сеймчан, железный метеорит Odessa, хондрит Челябинск, Fe–Ni сплавы

E. V. Brusnitsyna, R. F. Muftakhetdinova, T. V. Tiutrina

MARTENSITE AND MARTENSITE-LIKE STRUCTURES IN METEORITES

Martensitic transformations can be found not only in terrestrial alloys. It may also occur in cosmic origin objects, such as meteorites. In the present work considers the morphological features of carbon-containing and carbon-free transformations products of the γ -Fe (Ni, Co) — phase in various meteorites: pallasite, iron and ordinary chondrite.

Key words: martensite, lenticular martensite, martensite-like structure, Seymchan pallasite, Odessa iron, Chelyabinsk chondrite, Fe–Ni alloys.

Мартенситное превращение характерно для полиморфных металлов. В зависимости от морфологии выделяют несколько типов мартенсита: реечный (пакетный мартенсит), батерфляй, линзовидный и тонкопластинчатый [1]. Подобные структуры могут образовываться в результате термообработки и механического нагружения материала. Так же как в сталях и других искусственных сплавах метеориты

в своей космической истории претерпевают различные термические и ударные воздействия. В результате можно наблюдать как равновесные, так и неравновесные структуры.

В метеоритах, в отличие от искусственных сплавов, углерод в основном присутствует в незначительном количестве, и в большинстве исследуемых металлических фрагментов метеоритов наблюдаются мартенситоподобные структуры. Однако вблизи включений графита и карбидов высока доля вероятности обнаружения частиц с характерными чертами мартенситной структуры, описываемой для сплавов Fe–Ni [2]. В железных и каменных метеоритах мартенсит и мартенситоподобная структура образуются из тэнита γ -Fe (Ni, Co) при различной температуре и концентрации Ni в соответствии с фазовой диаграммой Fe–Ni [3].

В работе исследовалась морфология продуктов мартенситных превращений в различных фрагментах метеоритов: обыкновенный хондрит Челябинск LL5 (светлая, неизменная литология), палласит Сеймчан PMG и железный метеорит Odessa IAB-MG.

Поверхность фрагментов метеоритов была подготовлена по стандартной металлографической методике, включающей в себя шлифовку и полировку. В качестве травителя использовался 2 %-ый раствор азотной кислоты в спирте. Исследование микроструктуры проводилось на оптическом микроскопе Axiovert 40 MAT и электронном микроскопе FE-SEM SIGMA VP.

Характерные для метеоритов картины мартенситоподобных структур наблюдаются в палласите Сеймчан и железном метеорите Odessa. Во фрагментах данных метеоритов мартенситоподобные структуры присутствуют в виде двухфазной смеси — плессита ($\alpha + \gamma$) в центральной части зонального тэнита γ -Fe (Ni, Co) (рис., *a*), которая формируется при медленном охлаждении внутри камасита α -Fe (Ni) по реакции $\gamma \rightarrow \alpha_m \rightarrow (\alpha + \gamma)$. Авторы работы [4] называют такую структуру плесситным мартенситом и предполагают, что она формируется из тэнита γ -Fe (Ni, Co) при охлаждении в диапазоне температур от 350 до 30 °C. По морфологии мартенситоподобные структуры напоминают пакетный мартенсит, характерный для малоуглеродистых низколегированных сталей и Fe–Ni сплавов с содержанием Ni менее 28 % [1]. На оптической микрофотографии (рис., *a*) различимы участки разной травимости, имеющие различное содержание Ni и, как следствие, различные точки M_n . Эта мартенситовидная структура была сформирована по механизму, подобному для нижнего бейнита в сталях.

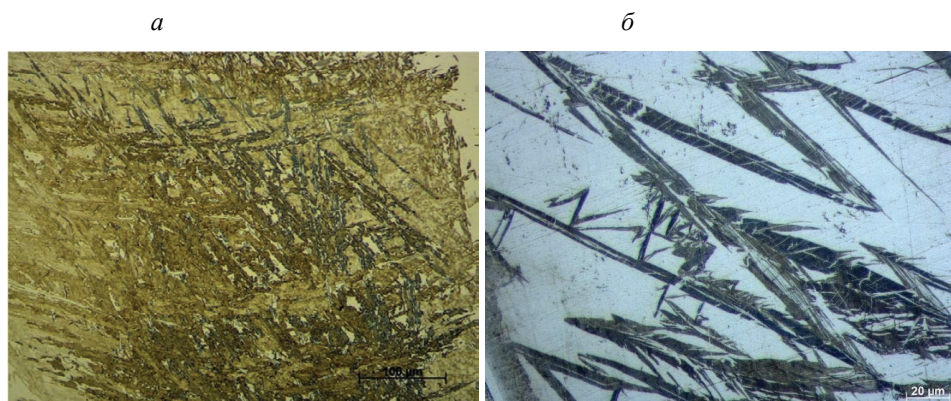


Рис. Оптическая микрофотография:

а — мартенситоподобная структура в палласите Сеймчан,
б — линзовидный мартенсит в метеорите Челябинск

Фрагмент метеорита Челябинск со светлой литологией содержит крупную металлическую частицу размером 350×1000 мкм, которая состоит из камасита $\alpha\text{-Fe (Ni)}$, тэнита $\gamma\text{-Fe (Ni, Co)}$ и троилита (FeS). Тэнит $\gamma\text{-Fe (Ni, Co)}$ имеет зональную структуру и большое включение карбида $(\text{Fe, Ni})_{23}\text{C}_6$, о котором ранее сообщалось в работе [5]. В центральной части тэнита присутствует мартенсит (рис., б), ширина пластин которого варьируется от 4 до 12,5 мкм, длина — от 16 до 200 мкм. Кристаллы образуют остроугольные соединения. По морфологии мартенсит напоминает линзовидный, подобные структуры были описаны при исследовании сплава 30 НЗ1, охлажденного до -269°C в работе [2].

Таким образом, в метеоритах можно встретить различные по морфологии продукты распада тэнита $\gamma\text{-Fe (Ni, Co)}$. Данные структуры формируются при различном химическом составе сплавов Fe-Ni-Co , где основную роль в изменении морфологии продуктов играет углерод.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18–38–00598, а также при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования (проект № 5.4825.2017/6.7), акта 211 Правительства Российской Федерации, (соглашение № 02.А03.21.0006).

Литература

1. Cahn R. W., Haasen P. *Physical Metallurgy* (Fifth Edition). Elsevier, 2014. P. 1021–1072.
2. Счастливец В. М., Калетина Ю. В., Фокина Е. А. Остаточный аустенит в легированных сталях. Екатеринбург : РИО УрО РАН, 2014. 236.
3. Yang C.-W., Williams D. B., Goldstein J. I. A revision of the Fe–Ni phase diagram at low temperature // *J. Phase Equil.* 1996. V. 17. P. 522–531.
4. Goldstein J. I., Huss G. R., Scott E. R. D. Ion microprobe analyses of carbon in Fe–Ni metal in iron meteorites and mesosiderites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2017. V. 200. P. 367–407.
5. Grokhovsky V. I., Brusnitsyna E. V., Yakovlev G. A. Haxonite in Chelyabinsk LL5 meteorite // *Meteorit. & Planet. Sci.* 2015. V. 50. P. 5272.